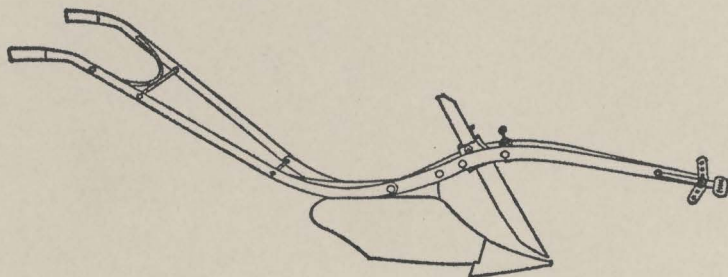




Institutionen för
Markvetenskap
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala
Department of Soil Sciences,
Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 37

2001

Jonas Moberg

**LÅNGSIKTIGA FÖRÄNDRINGAR AV
JORDBRUKSMARKENS FYSIKALISKA
EGENSKAPER** - en studie av 10 svenska
åkermarksprofiler

ISSN
ISRN

1102-6995
SLU-JB-M--37--SE

SLU
Markvetenskapliga institutionen
Avdelningen för jordbearbetning

Långsiktiga förändringar av jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper-

en studie av 10 svenska åkermarksprofiler.

Av: Jonas Moberg

Handledare: Johan Arvidsson
Maria Stenberg

Sammanfattning

Denna undersökning genomfördes med syftet att se om jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper förändrats under de sista 40 åren. Det finns indikationer på att de ensidiga växtföljder, tunga maskiner och oorganiska gödselmedel det moderna jordbruket för med sig försämrar markens produktionsförmåga.

I undersökningen valdes tio åkerjordar ut, som undersökts med avseende på ett flertal fysikaliska parametrar för ca 40 år sedan. Metoden som användes var att upprepa mätningar av framförallt skrymdensitet och genomsläpplighet och jämföra nya och gamla värden.

Provplatserna som valdes ut var alla belägna på lerjordar på större brukningsenheter. Fem av platserna ligger i Uppland och fem i Skåne. Provtagningen skedde genom att en meter djupa gropar grävdes. Jordprover togs i intervall var tionde centimeter. Cylinderprover togs från fem nivåer, sex cylindrar per nivå, från markytan till 80 centimeters djup. Under provtagningen gjordes observationer på provplatsen.

På laboratoriet torkades och maldes jordproverna före bestämning av kompaktdensitet, vissningsgräns, lerhalt, kornstorleksfördelning och glödförlust. Cylinderproverna mättes med vatten och undersöktes genom avsugning till 1 m vp., och mätning av mättad genomsläpplighet. Därefter torkades proverna för att bestämma skrymdensitet och porositet.

Genomsläppligheten i alven var signifikant lägre i prover tagna 1997 jämfört med de äldre provtagningarna. Skillnader i skrymdensitet mellan provtagningstillfällena var små och ej statistiskt signifikanta.

Det är svårt att ange en säker orsak till att det uppmättes en lägre genomsläpplighet 1997 jämfört med ca 40 år tidigare. Möjliga förklaringar är jordpackning genom körning med tunga maskiner, eller minskad upptorkning p.g.a. förändrade växtföljder, framförallt genom minskad vallodling. Resultaten har dock en viss osäkerhet, då det metodmässigt är svårt att utföra mätningarna på samma sätt som gjorts långt tidigare. Ytterligare undersökningar behövs då en sänkt genomsläpplighet är en allvarlig indikation på att markens produktionsförmåga försämras.

Innehåll

1 Inledning	4
2 Material och metoder	5
2.1 Provplatserna	5
2.2 Provtagningen	6
2.3 Laboratoriemätningar	8
2.4 Mätningar vid tidigare provtagning	8
2.5 Statistik	8
3 Resultat och diskussion	9
3.1 Vissningsgräns, lerhalt och glödförlust	9
3.2 Genomsläpplighet	11
3.3 Porositet	13
3.4 Andelen stora porer	14
4 Slutsatser	17
5 Referenser	17

1 Inledning

Håkansson (1994) hävdar att modernt jordbruk försämrar markens förmåga att producera p.g.a. användningen av tunga maskiner, ensidiga växtföljder och oorganiska gödselmedel. Markens produktionsförmåga beror till viss del av markens fysikaliska egenskaper. Marken skall förse växtens rötter med fäste, vatten och luft under de olika stadierna av växtsäsongen. Några viktiga fysikaliska egenskaper är porositet, porstorleksfördelning, och vattengenomsläpplighet. Dessa beror i sin tur bland annat på markens mineralsammansättning, halt av organiskt material och brukningstekniker. Just halten av organiskt material, levande och dött, påverkar jordens känslighet mot packning, (Soane, 1989; Tisdall & Oades, 1992).

I en serie publikationer "Studier av markprofiler i svenska åkerjordar" från SLU har svenska åkerjordar studerats av Wiklert m. fl. (1983). En del av undersökningarna är från 50-tal eller tidigt 60-tal. Det är samma tidsperiod som det moderna jordbruket på allvar gjorde sitt intåg. Det moderna jordbruket förde med sig större och tyngre maskiner. Att dessa maskiner packar och möjligen påverkar produktiviteten visas av Håkansson m.fl. (1994) när de mätte penetrometermotstånd ned till 60 centimeters djup i mark som trafikerats och jämförde med liknande otrafikerad mark. Att en packning av djupare jordlager sker är allvarligt. Det tar lång tid att återställa produktiviteten om det alls är möjligt (Håkansson, 1994). Allt tyder på att det finns ett samband mellan tunga maskiner och jordpackning men det är inte så enkelt att större maskiner alltid packar mer än lättare (Hadas, 1994). Olika faktorer, såsom jordens vattenhalt och hur man applicerar tyngden, påverkar om det sker någon packning av jorden. Mer kunskap om hur och vilka skador som uppkommer behövs för att kunna genomföra lämpliga åtgärder (Hadas, 1994). Under samma period på 50 och 60-talen skedde en övergång till ett jordbruk där många gårdar drevs kreaturslöst med växtföljder utan vall och stallgödsel. Vallodling är kanske den effektivaste metoden att bibehålla, eller till och med förbättra, genomsläppligheten.

Syftet med detta arbete var att studera om jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper förändrats under den sista 40-årsperioden. Den metod som användes var att gå tillbaka till de provplatser som beskrivits av Wiklert m.fl. (1983), och genomföra en liknande mätning av skrymdensitet och genomsläpplighet. Dessutom bestämdes andelen grova porer i profilerna.

2 Material och metoder

2.1 Provplatserna

I en serie rapporter från Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid institutionen för markvetenskap vid SLU beskrivs ett antal åkerjordar med tyngdpunkt på markfysikaliska egenskaper (Wiklert m.fl., 1983). Tio provplatser i Uppland och Skåne valdes ur dessa publikationer efter kriterierna:

1. Tidigt undersökta.
2. Lerjordar.
3. Större brukningsenheter med förmodad tidig mekanisering av lantbruksdriften.

Fem jordar i Uppland och fem i Skåne gallrades fram. Alla platser lokaliserades med hjälp av de koordinater som finns i ursprungsundersökningarna och ekonomiska kartblad från lantmäterimyndigheten. I en del fall mättes det med måttband och stegades från angivna punkter i terrängen. Felmarginalen på kartbladen och därigenom groparna är uppskattningsvis 10 m.

Krusenberg 1, 2 och 4 (Wiklert, m.fl. 1983b) undersöktes 1954 och ligger i Uppland söder om Uppsala och öster om Mälaren (Ekoln). Jorden är postglacial lera av olika styvhet som blandats med utsvallat material från närliggande moräner. I botten ligger glaciala leror av olika mäktighet. Fältet ligger i en sydvästsluttning och groparna ligger på en nord-sydlig axel i fältet. Krusenberg 1 är närmast skogen och moränmarkerna mitt på den smala tunga som fältet bildar här. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6626325/1604890. Provtagningen skedde 97-10-09. Krusenberg 2 ligger 100 meter söder om Krusenberg 1 och längre från moränholmar. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6626230/1604900. Gropen grävdes 97-10-10. Krusenberg 4 ligger bredvid en moränholme i en svacka i södra delen av fältet. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6626020/1604980. Provtagning 97-10-15.

Lönhult 1 (Wiklert m.fl., 1983c) ligger på Ängelholmsslättens lerområde i Skåne. Tidigare provtagning skedde 1957. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6233265/1307690. Provplatsen är belägen ca. 500 meter väster om gårdens ekonomibyggnader. Provtagning 97-10-28. Jordarten är en styv eller mycket styv glaciärra med en del utsvallat grövre material och mörgel. Fältet ligger i ett mycket flackt område med några av de styvaste lerorna i Skåne. Under profilen finns den så kallade nordvästmoränen.

Svenstorp 1 undersöktes tidigare 1957 (Wiklert m.fl., 1983c). Det är ett fält som sluttade svagt nedåt mot norr. Godset Svenstorp ligger 4 km nordost om Lund. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6184705/1340355. Gropen grävdes i södra delen av fältet innanför vändtegen 35 meter från vägen och 350 meter från gårdshuset. Provtagning skedde 97-11-18. Jordarten är en baltisk moränlättilera med en del sten i. Övre delen visar ingen varvighet och kan antas vara svallad och omlagrad till en halv meters djup.

Säbyholm 1⁵⁷ (Wiklert, m.fl. 1983c) i slutet på en svag södersluttning norr om Helsingborg. Tidigare undersökning 1957. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6200960/1315120. Provtagning 97-10-31. Jordarten är en moränmellanlera. Materialet är så kallad sydvästmorän av baltiskt ursprung. Ingående i denna är stenar av enfärgad flinta. Jorden är svallad och omlagrad ner till 30 centimeters djup.

Säbyholm 1⁶¹ (Wiklert, m.fl. 1983c). Tidigare undersökning 1961. Strax norr om Helsingborg ligger provplatsen vackert uppe på en höjd i nordöstra hörnet av ett fält som sluttar svagt åt västsydväst. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 62009/13150. Gropen grävdes 97-11-18. Jordarten är en moränmellanlera av olika styvhet. Modermaterialet är en baltisk moränlera med grus och sten av flinta.

Ultuna 2⁵⁵ (Wiklert, m.fl. 1983a). Tidigare undersökning 1955. Gropen är grävd på det fält som avgränsas av Ultunaallén i söder och Dag Hammarskjöldsleden i väster. Fältet ligger på den slätt som begränsas av moränmarker i norr och väster och söder och av Fyrisån i öster. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6634100/1603630. Provtagningen skedde 97-10-08. Jorden är en postglacial mellanlera av olika styvhet. På flera ställen finns kalkzoner i de djupare delarna av profilen. I botten på profilen finns glaciallera.

Ultuna 3⁵⁵ (Wiklert, m.fl. 1983a). Tidigare undersökning 1955. Gropen ligger på fältet som avgränsas av Vipängsvägen i söder och Dag Hammarskjöldsleden i öster. Fältet ligger på den slätt som begränsas av moränmarker i norr och väster och söder och av Fyrisån i öster. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6633790/1603510. Gropen grävdes 97-10-02. Jorden är en glaciallera som överlagrats av en postglaciallera.

Övragård 1 (Wiklert, m.fl. 1983c). Tidigare undersökning 1957. Gropen låg på Ängelholmsslätten. Koordinater enligt ekonomiska kartan: 6245850/1315. Gropen grävdes 97-10-29. Jordarten är en styv till mycket styv lera. Överst i profilen förekommer postglacial lera med underliggande varvig glaciallera och mörkel. Jordlagren är mycket mäktiga, 150 meter på vissa platser. I botten ligger Skånes nordvästmorän.

Information om jordbruksdriften på provplatserna samlades in under de samtal med jordbrukarna som skedde innan och under provtagningen. Samtliga gårdar drevs som rationella lantbruksenheter med mycket spannmål och utan vall i växtföljden. Maskinparken bestod av moderna maskiner. Mekaniseringen var relativt tidig enligt brukarnas uppgifter. Alla jordar var krävande och en del upplevdes som packningskänsliga. I Skåne var betor och ärtor de grödor som krävde störst och tyngst skördare. Tyngden på maskinerna oroade flera brukare och medvetenheten om packningsskador och förebyggande åtgärder var hög.

2.2 Provtagningen

Groparna grävdes för hand i nord-sydlig riktning och blev ca. 1 m breda, 1,5 m långa och 1 meter djupa på det djupaste stället. Två typer av prover togs ut ur groparna.. Jordprover togs ut i norra och nordvästra delen av gropen i 10 cm intervall. Proverna förvarades i plastburkar med lock. Därefter vidtog cylinderuttagning som tog den större delen av tiden och gick till enligt följande. En plan yta förbereddes med spade och spackelspade på uppmätt nivå. Nivån bestämdes från en uppskattad markyta med hjälp av tumstock. Nivåerna var 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 50-60 cm och 70-80 cm. Metallcylindrar (100 * 72 mm) smordes in med olja och slogs ned med nedslagare i de tilljämnade ytorna. På varje nivå slogs 6 cylindrar ned. Cylindrarna grävdes försiktigt fram och skars rena med kniv. I botten av jordproven lades ett filterpapper och sedan fästes plastlock vid cylindrarnas båda ändar. Vid stenig jord eller om cylindrarna skadades slogs nya cylindrar ned. Alla prover fraktades i lådor och placerades i kylrum i väntan på undersökningar.

Under provtagningen gjordes också följande iakttagelser på provplatserna:
Krusenberg 1, 2 och 4: hela fältet var nysått med höstveten när groparna grävdes. Det luktade gödsel och de 20 översta centimetrarna var mycket plastiska.
Krusenberg 1 var blöt i de översta 20 centimetrarna. Ganska torr i övrigt. Grundvatten trängde fram i botten på gropen på ca 1 meters djup. Det fanns mängder av mask och maskhål.
Krusenberg 2 var plastisk och blöt ner till 30 centimeters djup men ganska torr under. Det fanns mycket mask och maskhål i hela profilen.
Krusenberg 4 var märkbart fuktigare än Krusenberg 1 och 2. Vid uttagningar av cylindrar på 70-80 cm djup upptäcktes dräneringsrör. Nya prover togs då i södra änden av gropen drygt 1 meter från dräneringsrören. Jorden innehöll mängder av mask och maskhål.

Lönghult 1, en trevlig grop att gräva trots en del sten. Det var träda på fältet och tydliga hjulspår syntes i fältet. Brukaren sa att man försökte köra i samma hjulspår år efter år. Brukaren upplevde marken som mycket packningskänslig. Gropen grävdes mellan två hjulspår.

Svenstorp 1. Sockerbetor hade just skördats på fältet. Brukaren använde stora traktorer och en egen treradig upptagare till betorna. Ytlagret var blött och plastiskt vid provtagningstillfället. Längre ner var jorden fuktig men inte blöt.

Säbyholm 1⁵⁷ låg på ett fält där betorna var skördade och de övre två nivåerna var blöta och lite plastiska. Därunder var jorden torr. Det fanns en hel del sten i profilen främst i den övre halvan vilket gjorde provtagningen svår. Dräneringen låg på 80 centimeters djup.

Säbyholm 1⁶¹ låg på ett höstsått sädesfält. Grävandet och provtagningen var problematisk. Jorden var våt och plastisk i ytan men torr i resten av profilen. Det var mycket sten på 30-50 cm nivån och väldigt mycket sten mellan 50 och 80 cm.

Ultuna 2. Gropen grävdes då fältet var alldeles nyplöjt vilket gjorde det omöjligt att ta ut cylindrar på nivån 10-20 cm. Jorden var torr och hård från 50 cm och nedåt. Vita kalkutfällningar syntes i botten på gropen.

Ultuna 3. Gropen grävdes då fältet var alldeles nyplöjt vilket gjorde det omöjligt att ta ut cylindrar på nivån 10-20 cm. Jorden var torr och tydligt varvig i nedre 40 centimetrarna.

Övragård 1. Fältet var plöjt vid provtagningstillfället. Jorden var blöt och plastisk i ytan med mycket halm. Uttagning av cylindrar var besvärligt. Ett tydligt stenlager med 10-30 mm stora stenar fanns på ca 32 centimeters djup. Under 60 cm var jorden torr och hård med tydliga sprickor och kalkutfällningar.

2.3 Laboratiemätningar

Jordproverna från varje grop torkades i torkrum innan de maldes. På de malda proverna gjorde sedan undersökning av kompaktdensitet. Värdena på kompaktdensiteten användes i uträkningen av skrymdensitet (volymvikt) och porositet. På alla malda prover genomfördes en bestämning av vissningsgräns genom att proven utsattes för ett vattenavförande tryck på 1,5 MPa. På en del prover bestämdes jordens kornstorleksfördelning.

Cylindrarna togs hem och förvarades i kylrum, +2 °C. Omgångar om 24 cylindrar vattenmättades först i minst en vecka innan de sattes på sandbäddar för avsugning till först 0,5 m varefter de vägdes. Sedan avsögs cylindrarna på 1 m varefter de vägdes igen. Från dessa vägningar med vattenavförande tryck på 0,5 och 1 meter räknades andel luftfyllda porer fram (Andersson & Wiklert, 1972). Efter avsugningen vattenmättades cylindrarna försiktigt igen under ett par dagar innan mättad vattengenomsläpplighet mättes. Metoden finns beskriven av Andersson (1955). Efter genomsläpplighets mätningen torkades cylindrarna i minst 48 timmar i 105 °C innan de slutligen vägdes en sista gång.

2.4 Mätningar vid tidigare provtagning

Vid de tidigare undersökningarna gjordes ett stort antal tester på jordproverna. Specifik vikt undersöktes och den permanenta vissningsgränsen räknades ut eller mättes. Kornstorleksfördelning undersöktes och glödförlust mättes. Avsugningsdiagram ritades för alla jordar. Mättad genomsläpplighet mättes. I Wiklert m.fl., (1983a,b,c) redovisas en utförlig uppsättning värden för de olika jordarna. Vid en återblick på ursprungsmaterialet och de protokoll som skrevs vid undersökningarna framgår att de flesta värden i publikationerna är medelvärden av 1, 2 eller ibland 3 prover.

2.5 Statistik

Resultaten från mätningarna på porositet och genomsläpplighet analyserades statistiskt, nivå för nivå, med de olika groparna som upprepningar. Det undersöktes om de nya värdena var lika med de äldre eller om man kunde förkasta den hypotesen. Aritmetiska medelvärden används för alla värden utom för genomsläpplighet vid jämförelse mellan de enskilda jordarna förr och nu. Vid den statistiska analysen av genomsläppligheten logaritmerades de aritmetiska medelvärdena för varje nivå och jord vilket ökar sannolikheten att värdena kan antas vara normalfördelade (Bathke & Cassel, 1994).

3 Resultat och Diskussion

3.1 Vissningsgräns, lerhalt och glödförlust.

Permanent vissningsgräns, lerhalt, kompaktdensitet och glödförlust för samtliga platser och nivåer presenteras i tabell 1. Lerhalten skiljer sig ganska mycket mellan gamla och nya värden på vissa platser såsom Krusenberg, Säbyholm och Ultuna. En förklaring kan vara variationer i djupled då dessa jordar har tydliga skikt vars lerinnehåll kan variera i djupled.

Undersökningen av kornstorlek var inte kontinuerlig så vissa karaktäristiska lerhaltstoppar kan ligga mellan de nivåer som undersöktes. En liten variation mellan glödförlusten i de övre skikten kan förklaras med variation av markens innehåll av organiska material. Vid höga lerhalter består det mesta av glödförlusten av vatten från lermineralet. Glödförlust som mått på organiskt material kan diskuteras eftersom den beror på två faktorer, dels avgång av koldioxid från jordens organiska material och dels avgång av vatten som är hårt bundet till lerpartiklar. För att få fram halten organiskt material måste man räkna med en omräkningsfaktor beroende på lerhalt. Jordar med samma ler och kolhalt kan ändå ha olika glödförlust beroende på lermineral och andel finler.

Värdena på specifik vikt är nästan samma då som nu och borde inte heller skilja sig nämnvärt då specifik vikt främst beror på jordarten och inte bör ändra sig nämnvärt på 40 år.

Säbyholm 1⁶¹ har de värden som skiljer sig mest mellan gamla och nya mätningar. De nya lerhaltsvärdena är betydligt lägre medan glödförlusten är högre. Möjligen skulle skillnaden i glödförlust kunna bero på nivåfel. I den gamla undersökningen saknas det värden på 1,5 MPa vattenavförande tryck för Säbyholm 1⁶¹.

Krusenberg 4 har skillnader i lerhalt mellan gamla och nya mätningar, mindre ler i den övre delen och mer i den undre delen jämfört med den äldre mätningen. En möjlig förklaring är omgrävning vid t.ex. täckdikning vilket skulle vara olyckligt för undersökningen.

Lönhult har en betydligt lägre glödförlust på 30-60 cm nivån nu än för 40 år sedan. Det kan bero på en betydande minskning av markens organiska material men det är inte speciellt troligt så pass djupt ner i marken.

Ultuna 3 har mycket lägre lerhaltsvärden 1997 jämfört med 1955. Jorden visar tydliga nivåskillnader med en lerhaltstopp vid 55 centimeters djup i den gamla undersökningen. Denna topp visas inte av de nya värdena. En viss inomfältlig variation förekommer säkert men en så tydlig lertopp borde synas. Denna del av undersökningen visar inte med önskvärd tydlighet att groparna grävts på samma ställe i den nya provtagningsomgången som i den äldre undersökningen.

Tabell 1. Vattenhalt vid 1,5 MPa vattenavförande tryck (vissningsgräns) 1997 och 1955-61 samt lerhalt (Ler < 0,002 mm) 1997 och 1955-61 och glödförlust 1997 och 1955-61.

Jord och djup (cm)	Vid 1,5 MPa vattenavförande tryck Volym %	Gamla värden	Lerhalt %	Gamla värden	Kompakt- Densitet g/cm ³	Gamla värden	Glödförlust %	Gamla värden
Krusenberg 1								
10 till 20	17,9	14,1		28	2,65	2,66		4
20 till 30	19,6	13,2		29	2,67	2,68		4
30 till 40	20,7	13,7	38,4	27	2,71	2,68	3,8	3
50 till 60	26,3	28	51	26	2,75	2,77	3,4	3
70 till 80	27,1	30,2		59	2,80	2,78		3
Krusenberg 2								
10 till 20	17,8	19,5		35	2,64	2,67		5
20 till 30	17,7	30,5	32,2	61	2,63	2,76	3,4	5
30 till 40	26,0	31,1		59	2,70	2,76		5
50 till 60	27,8	31	57,5	56	2,74	2,76	3,8	3
70 till 80	29,2	32,2		45	2,73	2,76		3
Krusenberg 4								
10 till 20	21,5	21,5	35,4	44	2,63	2,71	5	5
20 till 30	21,9	23,8	37,3	49	2,65	2,73	4,3	5
30 till 40	21,7	22,4	44,6	63	2,69	2,78	3,9	4
50 till 60	31,1	29,3	76,8	59	2,72	2,78	4,8	4
70 till 80	34,2	30,1	72,1	49	2,75	2,78	4	4
Lönghult								
10 till 20	22,5	24,9		46	2,66	2,63		8
20 till 30	21,6	25,5		46	2,66	2,63		8
30 till 40	32,0	29,5	58,4	55	2,76	2,68	3,9	7
50 till 60	32,8	32,7	66,6	67	2,77	2,77	4,1	6
70 till 80	33,7	33,2		64	2,77	2,75		5
Svenstorp								
10 till 20	10,7	19,3		18	2,63	2,62		4
20 till 30	11,3	9,8		19	2,65	2,64		4
30 till 40	12,4	9,7	20,5	18	2,69	2,64	2,3	3
50 till 60	15,4	18,8	22,7	32	2,69	2,69	2,4	3
70 till 80	20,8	20,6		36	2,72	2,70		3
Säbyholm 1⁵⁷								
10 till 20	20,3	17,2		35	2,67	2,65		6
20 till 30	20,7	20,3		35	2,66	2,65		6
30 till 40	20,0	22,9	22,7	40	2,67	2,71	4,1	5
50 till 60	22,9	24,5	36,7	42	2,72	2,73	3,3	4
70 till 80	20,3	24		38	2,73	2,73		4
Säbyholm 1⁶¹								
10 till 20	14,0	Värden saknas		26	2,65	2,6		4
20 till 30	14,9			26	2,65	2,6		4
30 till 40	15,9	på denna	22,7	31	2,65	2,65	4,1	3
50 till 60	13,0	Jord.	16,8	34	2,65	2,69	3,2	2
70 till 80	18,4			30	2,71	2,70		1
Ultuna 2								
10 till 20	18,5	15,1		34	2,68	2,65		4
20 till 30	20,2	16,5		34	2,72	2,65		3
30 till 40	25,8	20,3	47,8	43	2,76	2,69	3,2	3
50 till 60	24,6	22,1	41,3	47	2,75	2,71	2,9	3
70 till 80	25,6	22,2		42	2,75	2,71		2
Ultuna 3								
10 till 20	18,3	17,6		37	2,68	2,63		5
20 till 30	18,0	17,9		39	2,70	2,67		3
30 till 40	23,9	25,7	44	55	2,73	2,71	3,7	3
50 till 60	24,1	27,9	43,1	86	2,75	2,74	3	4
70 till 80	28,8	36,5		76	2,77	2,75		4
Övragård								
10 till 20	23,8	27,8		52	2,67	2,60		12
20 till 30	26,0	28,7		63	2,65	2,75		7
30 till 40	34,8	31,6	63,3	65	2,77	2,77	4,7	7
50 till 60	31,1	30,1	63,2	59	2,78	2,76	4	6
70 till 80	31,2	30,1		56	2,76	2,75		6

3.2 Genomsläpplighet

Resultaten från den mättade genomsläppligheten redovisas i tabell 2. Som ett allmänt värde på god genomsläpplighet ges 3-4 cm/h (Arvidsson, 1998). Detta blir enligt FAO's Guidelines for soil descriptions: Moderately rapid (2,0-6,0 cm/h). För fullständig information om FAO's indelning, se bilaga 6. En bedömning kan göras utifrån detta värde om jordarna har hög eller låg genomsläpplighet.

Tabell 2. Mättad genomsläpplighet (cm/h). I tabellen presenteras de värden som framkom 1997 jämte de äldre värden som presenteras i litteraturen

	1997	1955-61		1997	1955-61
Krusenberg 1	cm/h	cm/h	Säbyholm 1 57	cm/h	cm/h
10 till 20	0,03	210	10 till 20	0,06	1,5
20 till 30	4,54	18	20 till 30	0,05	0,3
30 till 40	7,55	13	30 till 40	0,13	4,3
50 till 60	2,62	170	50 till 60	3,21	137
70 till 80	0,6	121	70 till 80	0,67	298
Krusenberg 2			Säbyholm 1 61		
10 till 20	1,04	0,25	10 till 20	4,85	0,05
20 till 30	1,19	0,12	20 till 30	3,64	0,08
30 till 40	0,66	11	30 till 40	1,29	1,3
50 till 60	0,41	21	50 till 60	1,15	1,9
70 till 80	7,32	147	70 till 80	0,16	0,2
Krusenberg 4			Ultuna 2		
10 till 20	0,08	5,3	20 till 30	0,61	1
20 till 30	1,03	0,51	30 till 40	1,78	104
30 till 40	0,71	16	50 till 60	11,22	253
50 till 60	0,09	73	70 till 80	17,37	576
70 till 80	0,05	0,8			
Lönkhult			Ultuna 3		
10 till 20	1,13	58	20 till 30	10,23	0,02
20 till 30	4,86	12	30 till 40	3,4	1
30 till 40	0,7	0,8	50 till 60	5,79	7
50 till 60	0,07	4	70 till 80	15,7	7
70 till 80	0,03	1,4			
Svenstorp			Övragård		
10 till 20	9,06	21	10 till 20	12,53	3,6
20 till 30	2,61	2,6	20 till 30	0,75	0
30 till 40	3,53	21	30 till 40	0,03	0
50 till 60	2,18	31	50 till 60	0,06	38
70 till 80	1,67	37	70 till 80	0,21	1,3

Om en jord har ett skikt med låg genomsläpplighet har detta stor inverkan på den totala genomsläppligheten. Är det täta skiktet i ytan märks detta tydligt även vid måttlig nederbörd. Om det begränsande skiktet finns på en djupare nivå behöver inte detta märkas alls förutom på våren eller kanske endast speciellt våta år. Tillvägagångssättet att ta ut små cylindrar och mäta mättad genomsläpplighet på laboratorier diskuteras av Messing (1993). Han kom fram till att genomsläppligheten blir lägre om man tar små prover än om man mäter på större enheter. Värden från laboratoriet visar inte verkligheten i fält. De tidigare undersökningarna gjordes dock på cylindrar av samma storlek, så en jämförelse är möjlig mellan gamla och nya värden. Man måste vara försiktighet med att extrapolera cylindervärdena till fältskala då stora fel kan uppstå.

I mätningarna 1997 har Krusenberg 1 begränsande lager på 10-20 cm och 70-80 cm men har i övrigt godkänd genomsläpplighet. Krusenberg 2 har något låga värden 10-30 cm, för låga på

30-60 cm djup och ett högt värde på 70-80 cm. Krusenbergs 4 har ett något lågt värde på 20-30 cm djup och i övrigt för låga värden för en god genomsläpplighet. Lönhult har något lågt värde i 10-20 cm, bra värde 20-30 cm men sedan för låga värden. Svenstorp har moderata värden i hela profilen. Säbyholm 1⁵⁷ har låga värden på alla nivåer utom 50-60 cm nivån som har ett bra värde. Säbyholm 1⁶¹ har bra värden ner till 30 cm djup något låga ner till 60 och för lågt värde 70-80 cm. Ultuna 2 har något låga värden ner till 40 cm djup men högre värden 50-80 cm. Ultuna 3 har höga värden i hela profilen. Övragård har ett högt värde 10-20 cm men sedan för låga värden.

Jämfört med de äldre värdena ser man att en del av de nya värdena är högre, flera är lägre och en del är mycket lägre. Resultaten för 1997 är medelvärden från sex cylindrar medan värdena från den äldre undersökningen är medelvärden från 2-3 cylindrar. I undantagsfall har endast en cylinder undersöks i de äldre undersökningarna.

Hos Krusenbergjordarna är tendensen klar. De flesta skikt har lägre genomsläpplighet nu än för 40 år sedan. Ett par värden är lite högre i de övre skikten men de flesta är mycket lägre. Man kan ana en minskning av genomsläppligheten. Skiktet med lägst genomsläpplighet begränsar profilen men detta skikt kommer på olika nivå i Krusenbergjordarna. Krusenbergs 1 har sämst genomsläpplighet i ytan men det värdet kan vara lite missvisande då jorden i det lagret bearbetas. Krusenbergs 2 har lägst genomsläpplighet i lagret 50-60 cm. Detta lager hade hög genomsläpplighet i den tidigare undersökningen. Krusenbergs 4 har lägst genomsläpplighet i det översta och de två understa lagren. Även här har genomsläppligheten sjunkit betydligt sedan den tidigare undersökningen. Lönhults samtliga värden är lägre 1997 än 1957. Lägst är genomsläppligheten i nedre delen av profilen med lägst värde i skiktet 70-80 cm. Svenstorp har ett värde som liknar det gamla i skiktet 20-30 cm. Övriga värden är lägre även om inget riktigt lågt värde finns i profilen. Säbyholm 1⁵⁷ har mycket lägre värden i hela profilen jämfört med tidigare undersökning och begränsande lager i de övre 40 centimetrarna. Säbyholm 1⁶¹ har högre värden i de översta 30 centimetrarna 1997 än 1961. I övriga profilen liknar gamla och nya värden varandra. Hos Ultuna 2 är värdena lite uppseendeväckande. Samtliga värden är lägre nu än 1955 men inga riktigt låga. Begränsande lager då som nu finns i skiktet 20-30 cm. Ultuna 3 har nu höga värden i hela profilen. Värdena är högre 1997 än 1955 förutom i skiktet 50-60 cm. Övragård har nu riktigt låga värden i skikten 30-40 och 50-60 cm. 1957 var de lägsta värdena noll i skikten 20-30 och 30-40 cm. En förklaring kan vara att nivåerna inte överensstämmer mellan den nya och den gamla mätningen och att de riktigt täta skikten är samma nu som då. Det kan diskuteras om nollvärden skall accepteras. Det bör inte vara så att en jord är helt tät. I den nya undersökningen visade sig några cylindrar få värdet noll på genomsläpplighet. Detta beror på att mätmetoden inte är riktigt exakt vid väldigt små flöden. Vatten försvinner på vägen. Stora ytor måste vätas innan mätbara mängder vatten kan visas i mätglas. Det vore inte felaktigt att omvandla noll värden till t.ex. 0,001 cm/h, då det är en mängd som inte kan mätas med den aktuella metoden.

I Messing (1993) beskrivs det hur konduktiviteten i de ytliga jordlagren varierar beroende på när på året proverna tas. Detta kan spela större roll än 40 år av jordbruk och förklara att vi ser stor skillnad i medelvärde för skiktet 10-20 cm då och nu utan att få resultatet statistiskt signifikant.

Medelvärdena från varje nivå och jord logaritmerades (Log K) och en statistisk analys av sannolikheten att värdena var normalfördelade (W) genomfördes. Resultatet blev att $Pr (Log K) < W = 0,1118$ vilket betyder att vi inte kan förkasta sannolikheten att Log K är normalfördelat. Medelvärden för samtliga provplatser redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Medelvärden på genomsläpplighet för samtliga 10 jordar och nivåer (I nivå 10-20 är det 8 värden), samt värde på P (= sannolikhet att de logaritmerade gamla och nya värdena ej skiljer sig från varandra).

Nivå	Genomsläpplighet 1997, cm/h	Ggenomsläpplighet 1955-61, cm/h	P
10-20	3,60	37,46	0,2179
20-30	2,95	3,46	0,2674
30-40	1,98	17,24	0,0194
50-60	2,68	73,59	0,0005
70-80	4,37	118,97	0,0258

I de tre nedre skikten är det signifikanta skillnader mellan gamla och nya värden, det har skett en betydlig sänkning av genomsläppligheten hos de jordar som undersökts. Ultuna 2 med mycket höga genomsläpplighetsvärden i de nedre skikten i den gamla undersökningen spelar naturligtvis in i hög grad. Man måste vara medveten om att den äldre undersökningens värden baseras på ett litet antal prover. Jorden är väldigt heterogen och enskilda prover från samma nivåer kan variera väldigt mycket.

3.3 Porositet

Resultaten för porositeten presenteras i tabell 4. Alla numeriska skillnader tas med i diskussionen men det var ej möjligt att genomföra en statistisk analys av skillnader på enskilda jordar.

Tabell 4. Porositet i volymsprocent 1997 och 1955-61, samt procent luftfyllda porer vid avsugning till 1 meter 1997

	1997	1955-61	1 m		1997	1955-61	1m
Krusenberg 1	%	%	%	Säbyholm 1 57	%	%	%
10 till 20	42	44	6	10 till 20	42	44	4
20 till 30	37	43	5	20 till 30	41	40	3
30 till 40	40	42	7	30 till 40	40	40	1
50 till 60	46	44	8	50 till 60	40	43	6
70 till 80	47	51	8	70 till 80	36	39	5
Krusenberg 2				Säbyholm 1 61			
10 till 20	42	41	6	10 till 20	45	39	16
20 till 30	43	48	9	20 till 30	42	38	12
30 till 40	44	48	6	30 till 40	36	37	9
50 till 60	47	47	4	50 till 60	36	39	9
70 till 80	46	45	5	70 till 80	36	34	5
Krusenberg 4				Ultuna 2			
10 till 20	42	46	3	10 till 20			
20 till 30	38	47	2	20 till 30	47	39	11
30 till 40	43	49	3	30 till 40	42	42	9
50 till 60	49	48	2	50 till 60	45	45	11
70 till 80	52	45	5	70 till 80	47	45	11
Lönhult				Ultuna 3			
10 till 20	47	46	8	10 till 20			
20 till 30	49	42	11	20 till 30	50	40	15
30 till 40	47	44	3	30 till 40	44	44	9
50 till 60	47	48	3	50 till 60	46	50	9
70 till 80	47	46	3	70 till 80	45	50	7
Svenstorp				Övragård			
10 till 20	41	43	13	10 till 20	61	51	15
20 till 30	35	36	7	20 till 30	57	52	11
30 till 40	37	38	12	30 till 40	49	54	2
50 till 60	39	40	11	50 till 60	51	52	5
70 till 80	38	40	8	70 till 80	48	45	5

Hos fem av jordarna är porositeten lägst i sikten 20-30 och 30-40 cm, vilket visar på en plogsula och packning under matjorden. Krusenbergs-jordarna och Svenstorp har lägre porositet i de övre skikten nu jämfört med för 40 år sedan. De övriga har överlag högre porositet i de övre skikten jämfört med de äldre värdena. Detta kan bero på annan plöjningsteknik där nivån 20 till 30 cm påverkas av plöjningen.

Skillnader i de övre skikten påverkas av brukningen av jorden och djupare kan packning sänka porositeten. I undersökningen har sju stycken av jordarna högre porositet i ett eller båda av de djupare skikten (50-60 cm, 70-80 cm). En del skillnader är små men till exempel Krusenberg 4 har 7 % högre porositet nu än 1955. Omgrävning kan vara en förklaring. Djupgående rötter skapar bara fler större porer och ökar inte porositeten totalt.

Medelvärden av porositeten för samtliga provplatser uppdelade efter nivå visas i tabell 5.

Tabell 5. Porositet medelvärden från tio jordar nivå för nivå. Nya värden från 1997 och gamla från 1955-61

Nivå	Nya värden porositet %	Gamla värden porositet %
10-20 cm	45	44
20-30 cm	44	42
30-40 cm	42	44
50-60 cm	45	46
70-80 cm	44	44

Det är överlag små skillnader mellan gamla och nya värden, och ej statistiskt signifikanta. Det var lite högre nya värden i de två övre skikten och lite lägre nya värden i skikten 30-40 och 50-60 cm; samt ingen skillnad på 70-80 centimeters nivån. Tidigare var den tätaste nivån 20-30 cm men nu är den 30-40 cm, vilket är en indikation på packning under plogdjup. I andra undersökningar då man undersökt direkt alvpackning efter körning med tunga maskiner finner man oftast packning med minskning av skrymdensitet och porositet ned till ca 60 centimeters djup (Gamede, 1994).

3.4 Andelen stora porer

Resultatet av avsugningen presenteras i tabell 6. Det går inte att jämföra med äldre värden då det i den äldre undersökningen endast i undantagsfall gjordes avsugning till 1 meter. Som grund till kommentarer av värdena används följande riktvärde: jorden bör ha minst 10 % luftfylld porvolym vid normal dränering av matjorden för god luftväxling i marken (Stepniewski m.fl. 1994).

De flesta jordarna har värden som understiger 10%. Krusenberg 1 och 2 har låga värden på luftfylld porvolym och Krusenberg 4 har mycket låga värden. Lönhult har låga värden medan Svenstorp har medelhöga värden på luftfyllda porer vid 1 m vattenavförande tryck (trots lågt värde i skiktet 20-30 cm.). Säbyholm 1⁵⁷ har mycket låga värden på luftfylld porvolym medan Säbyholm 1⁶¹ har medelhöga värden. Ultuna 2 och Ultuna 3 fick i undersökningen låga värden. Övragård har höga värden i de två övre skikten ner till 30 cm djup men under där har jorden låga värden på luftfylld porvolym vid 1 m avsugning.

Andelen stora porer och kontinuiteten på dessa är betydelsefull för vatten- och luftklimatet i jorden. En direkt koppling med genomsläpplighet kan man inte göra men vissa samband kan finnas. Tabell 6 visar både genomsläpplighet och andel stora porer.

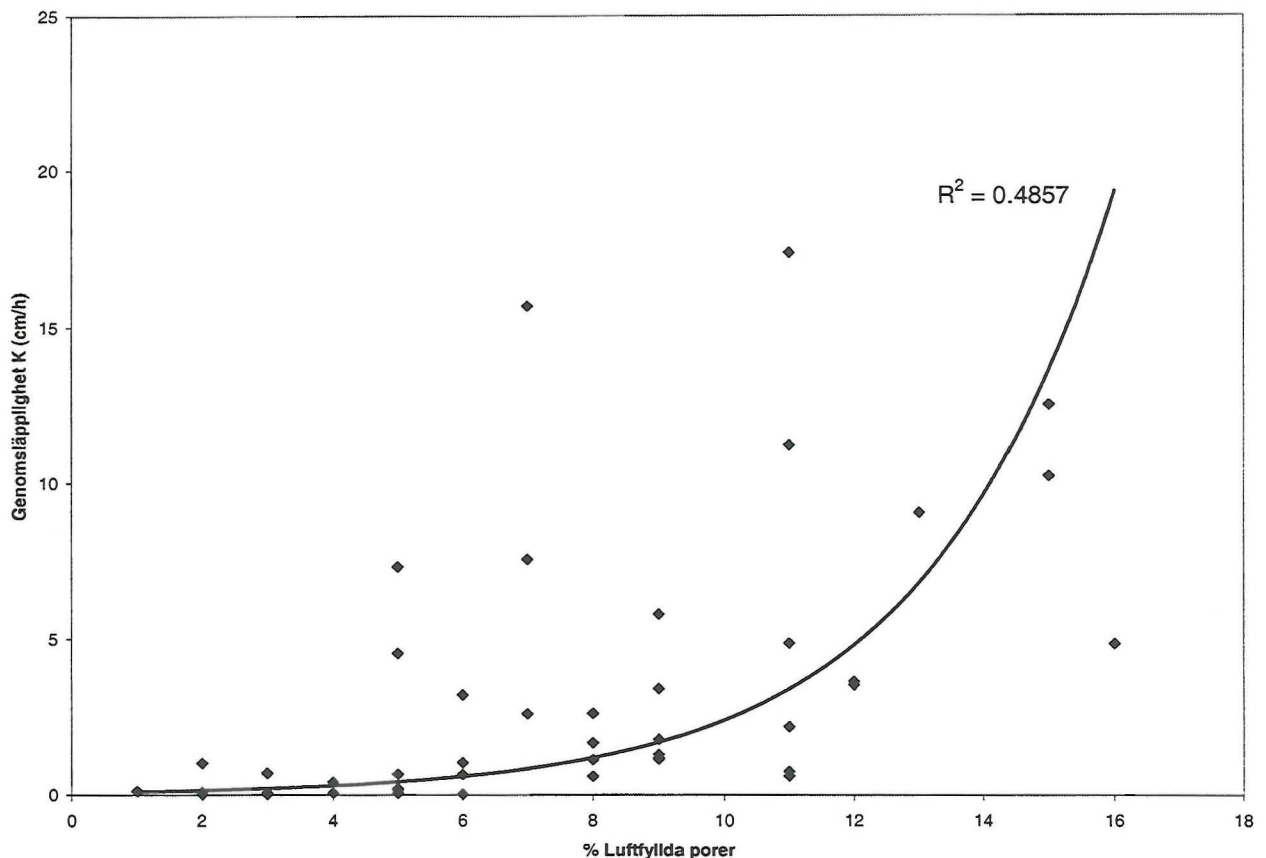
Tabell 6. Genomsläpplighet 1997 och luftfylld porvolym vid 1 meters avsugning.

	Genomsläpplighet (cm/h)	% luftfyllda porer		Genomsläpplighet (cm/h)	% luftfyllda porer
Krusenberg 1			Säbyholm 1 ⁵⁷		
10 till 20	0,03	6	10 till 20	0,06	4
20 till 30	4,54	5	20 till 30	0,05	3
30 till 40	7,55	7	30 till 40	0,13	1
50 till 60	2,62	8	50 till 60	3,21	6
70 till 80	0,6	8	70 till 80	0,67	5
Krusenberg 2			Säbyholm 1 ⁶¹		
10 till 20	1,04	6	10 till 20	4,85	16
20 till 30	1,19	9	20 till 30	3,64	12
30 till 40	0,66	6	30 till 40	1,29	9
50 till 60	0,41	4	50 till 60	1,15	9
70 till 80	7,32	5	70 till 80	0,16	5
Krusenberg 4			Ultuna 2		
10 till 20	0,08	3	10 till 20		
20 till 30	1,03	2	20 till 30	0,61	11
30 till 40	0,71	3	30 till 40	1,78	9
50 till 60	0,09	2	50 till 60	11,22	11
70 till 80	0,05	5	70 till 80	17,37	11
Lönkhult			Ultuna 3		
10 till 20	1,13	8	10 till 20		
20 till 30	4,86	11	20 till 30	10,23	15
30 till 40	0,7	3	30 till 40	3,4	9
50 till 60	0,07	3	50 till 60	5,79	9
70 till 80	0,03	3	70 till 80	15,7	7
Svenstorp			Övragård		
10 till 20	9,06	13	10 till 20	12,53	15
20 till 30	2,61	7	20 till 30	0,75	11
30 till 40	3,53	12	30 till 40	0,03	2
50 till 60	2,18	11	50 till 60	0,06	5
70 till 80	1,67	8	70 till 80	0,21	5

Som man ser förekommer de högsta genomsläpplighets värdena i de lager som har högst andel stora porer. Det syns tydligare i figur 1 där andelen luftfyllda porer anges som funktion av genomsläppligheten. De tendenser man kan se i figuren är föga förvånande. Jordarna med lägst genomsläpplighet har lägst andel stora porer. Under 5 % luftfylld porositet är genomsläppligheten alltid låg. Både höga och låga genomsläpplighets värden finns vid de högre procentvärdena.

Det är inte säkert att måttlig jordpackning sänker genomsläppligheten. Om det till exempel finns ett kraftigt system av stora porer, t.ex. maskgångar, bevaras en hög genomsläpplighet även om jorden runt porerna blir mer kompakt. Det behöver inte ens påverka produktiviteten på kort sikt. Flera saker kan påverkas om packningen tvingar vattnet till stora porer istället för att filtrera ned igenom hela jordmassan. Den inre erosionen bör öka. Detta bör också öka utlakningen av näringsämnen.

Det finns ett antal problem med att uttala sig om förändringar i markens fysikaliska egenskaper med den metod som används i detta arbete. Jämförelse mellan två olika undersökningar där metoderna varit liknande men inte exakt samma är riskabel. Om inte prover tas ut eller undersöks precis som för förtio år sedan uppkommer systematiska fel. Det är svårt att replikera undersökningar som bygger på ett så personligt hantverk som cylinderuttagning.



Figur 1. genomsläpplighetsvärden plottat mot % luftfyllda porer vid 1 m avsugning från undersökningen 1997.

Det går inte att säga om förändringarna beror på en långsam process eller om det är en förändring som uppstått tidigare vid ett tillfälle och som inte blir värre. Det är också osäkert om de förändringar som anas i det här arbetet betyder att jordens produktionsförmåga försämrats. Man kan inte klart säga om en enstaka jord eller nivå förändrats genom jordpackning. Det finns för många möjliga förklaringar till enskilda skillnader. Om en grop inte grävts på exakt samma ställe förekommer inomfältliga variationer och om gropen grävts på exakt samma ställe så är jorden förstörd genom omgrävningen för 40 år sedan. Det är först när flera gropar undersöks och jämförs med flera gamla värden man kan urskilja ett mönster. Den sänkta genomsläppligheten som undersökningen pekar på kan ha en del negativa effekter på produktionsförmågan. Det kan ta längre tid för jorden att torka upp på våren vilket gör att växtsäsongen blir kortare. Växtligheten kan få svårare att utnyttja jordvolymen för vatten- och näringsupptag. Näringsämnen kan försvinna genom ökad ytavrinning. Tiden kan förkortas för skörd och jordbearbetning på hösten. Det är viktigt att ta med dessa kostnader i beräkningen innan man utför verksamhet som kan orsaka packningsskador. Om markens genomsläpplighet i alven sänkts såsom indikeras av undersökningen innebär det en mycket allvarlig försämring av markens fysikaliska egenskaper.

4 Slutsatser

Genomsläppligheten i alven var signifikant lägre i mätningarna 1997 jämfört med mätningarna gjorda på 50- och 60-talet, ända till 80 cm djup. Värdena för 1997 låg ofta under de riktvärden som anges för god genomsläpplighet. Skillnader i porositet mellan gamla och nya värden var små och ej signifikanta.

Möjliga förklaringar till sänkt genomsläpplighet är jordpackning genom körning med tunga maskiner, eller minskad upptorkning p.g.a. förändrade växtföljder, framförallt genom minskad vallodling. Resultaten är dock relativt osäkra, då det metodmässigt är svårt att utföra mätningarna på samma sätt som gjorts långt tidigare. Ytterligare undersökningar behövs då en sänkt genomsläpplighet är en allvarlig indikation på att markens produktionsförmåga försämras.

5 Referenser

Andersson, S., 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8, spec. nr. 2.

Andersson, S. & Wiklert, P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaper hos svenska jordarter. Grundförbättring, 25, s. 53-143.

Arvidsson, J., 1998, Muntligt meddelande.

Bathke, G.R. & Cassel, D.K., Anisotropic variation of profiles characteristics and saturated hydraulic conductivity in an utisol landscape, Soil Science Society, volume 55, March-April 1991.

Gameda, S., 1994, Response of grain corn to subsoiling and chemical wetting of a compacted clay subsoil, Soil & Tillage Research, 29, March 1994.

Hadas, A., 1994, Soil compaction caused by high axle loads – review of concepts and experimental data, Soil & Tillage Research, 29, March 1994.

Håkansson, I., 1994, Subsoil compaction caused by heavy vehicles - a long-term threat to soil productivity, Soil & Tillage Research, 29, March 1994.

Håkansson, I., Grath, T., och Olsen, H.J., 1996, Influence of machinery traffic in Swedish farm fields on penetration resistance in the subsoil, Swedish Journal of Agriculture, res 26, 1996.

Messing, I., 1993, Saturated and near-saturated hydraulic conductivity in clay soils, . III och IV, Department of Soil Science, Reports and Dissertations 12, Uppsala 1993

Soane, B. D., 1989, The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects, Soil & Tillage Research, 16, 1990.

Steoniewski, W., Glinski, J., Ball, B.C., Effects of compaction on soil aeration properties, Development in agricultural engineering 11, Elsevier, Amsterdam-London-New York-Tokyo, 1994.

Wiklert, P., Andersson, S., Weidow, B., 1983a, Studier av markprofiler i svenska åkerjordar, En faktasammanställning, Del I Ultunajordar, Institutionen för markvetenskap, SLU, Rapport 132, Uppsala 1983.

Wiklert, P., Andersson, S., Weidow, B., 1983b, Studier av markprofiler i svenska åkerjordar, En faktasammanställning, Del VIII Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län, Institutionen för markvetenskap, SLU, Rapport 134, Uppsala 1983.

Wiklert, P., Andersson, S., Weidow, B., 1983c, Studier av markprofiler i svenska åkerjordar, En faktasammanställning, Del X Malmöhus och Kristianstads län, Institutionen för markvetenskap, SLU, Rapport 136, Uppsala 1983.